

特 許 協 力 条 約

P C T

特許性に関する国際予備報告（特許協力条約第二章）

（法第 12 条、法施行規則第 56 条）

〔P C T 36 条及び P C T 規則 70〕

出願人又は代理人 の書類記号 PCT117JST	今後の手続きについては、様式 P C T / I P E A / 4 1 6 を参照すること。	
国際出願番号 P C T / J P 2 0 0 5 / 0 0 2 1 8 5	国際出願日 (日. 月. 年) 0 8 . 0 2 . 2 0 0 5	優先日 (日. 月. 年) 1 3 . 0 2 . 2 0 0 4
国際特許分類 (I P C) Int.Cl. <i>H01F10/16(2006. 01), G11B5/39(2006. 01), H01F10/32(2006. 01), H01F41/22(2006. 01), H01L21/8246(2006. 01), H01L27/105(2006. 01), H01L43/08(2006. 01), H01L43/10(2006. 01)</i>		
出願人（氏名又は名称） 独立行政法人科学技術振興機構		

1. この報告書は、P C T 35 条に基づきこの国際予備審査機関で作成された国際予備審査報告である。 法施行規則第 57 条（P C T 36 条）の規定に従い送付する。
2. この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 5 ページからなる。
3. この報告には次の附属物件も添付されている。 a. <input checked="" type="checkbox"/> 附属書類は全部で 3 0 ページである。 <input checked="" type="checkbox"/> 補正されて、この報告の基礎とされた及び／又はこの国際予備審査機関が認めた訂正を含む明細書、請求の範囲及び／又は図面の用紙（P C T 規則 70. 16 及び実施細則第 607 号参照） <input type="checkbox"/> 第 I 欄 4. 及び補充欄に示したように、出願時における国際出願の開示の範囲を超えた補正を含むものとこの国際予備審査機関が認定した差替え用紙 b. <input type="checkbox"/> 電子媒体は全部で (電子媒体の種類、数を示す)。 配列表に関する補充欄に示すように、電子形式による配列表又は配列表に関連するテーブルを含む。 (実施細則第 802 号参照)
4. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。 <input checked="" type="checkbox"/> 第 I 欄 国際予備審査報告の基礎 <input type="checkbox"/> 第 II 欄 優先権 <input type="checkbox"/> 第 III 欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成 <input type="checkbox"/> 第 IV 欄 発明の単一性の欠如 <input checked="" type="checkbox"/> 第 V 欄 P C T 35 条 (2) に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明 <input type="checkbox"/> 第 VI 欄 ある種の引用文献 <input type="checkbox"/> 第 VII 欄 国際出願の不備 <input type="checkbox"/> 第 VIII 欄 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 1 3 . 0 9 . 2 0 0 5	国際予備審査報告を作成した日 1 8 . 0 5 . 2 0 0 6		
名称及びあて先 日本国特許庁（I P E A / J P） 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号	特許庁審査官（権限のある職員） 菊地 聖子	5 R	3 1 4 2
	電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 6 5		

様式 P C T / I P E A / 4 0 9（表紙）（2 0 0 5 年 4 月）

第 I 欄 報告の基礎

1. 言語に関し、この予備審査報告は以下のものを基礎とした。

- ☒ 出願時の言語による国際出願
☐ 出願時の言語から次の目的のための言語である _____ 語に翻訳された、この国際出願の翻訳文
☐ 国際調査 (PCT規則12.3(a)及び23.1(b))
☐ 国際公開 (PCT規則12.4(a))
☐ 国際予備審査 (PCT規則55.2(a)又は55.3(a))

2. この報告は下記の出願書類を基礎とした。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に応答するために提出された差替え用紙は、この報告において「出願時」とし、この報告に添付していない。)

☐ 出願時の国際出願書類

☒ 明細書

第 1-4, 8, 19, 20 _____ ページ、出願時に提出されたもの
 第 5、5/1, 6, 6/1, 7, 9 _____ ページ*、2005.09.13 付けで国際予備審査機関が受理したもの
 第 _____ ページ*、_____ 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☒ 請求の範囲

第 2-6, 9-11, 13, 16-18 _____ 項、出願時に提出されたもの
 第 _____ 項*、PCT19条の規定に基づき補正されたもの
 第 1, 7, 8, 12, 14, 15, 19 _____ 項*、2005.09.13 付けで国際予備審査機関が受理したもの
 第 _____ 項*、_____ 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☒ 図面

第 1-12 _____ ページ/図、出願時に提出されたもの
 第 _____ ページ/図*、_____ 付けで国際予備審査機関が受理したもの
 第 _____ ページ/図*、_____ 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☐ 配列表又は関連するテーブル

配列表に関する補充欄を参照すること。

3. ☐ 補正により、下記の書類が削除された。

☐ 明細書 第 _____ ページ
☐ 請求の範囲 第 _____ 項
☐ 図面 第 _____ ページ/図
☐ 配列表 (具体的に記載すること) _____
☐ 配列表に関連するテーブル (具体的に記載すること) _____

4. ☐ この報告は、補充欄に示したように、この報告に添付されかつ以下に示した補正が出願時における開示の範囲を超えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c))

☐ 明細書 第 _____ ページ
☐ 請求の範囲 第 _____ 項
☐ 図面 第 _____ ページ/図
☐ 配列表 (具体的に記載すること) _____
☐ 配列表に関連するテーブル (具体的に記載すること) _____

* 4. に該当する場合、その用紙に“superseded”と記入されることがある。

第Ⅴ欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条（PCT35条(2)）に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

1. 見解

新規性 (N)	請求の範囲	1 - 3 4	有
	請求の範囲		無
進歩性 (I S)	請求の範囲		有
	請求の範囲	1 - 3 4	無
産業上の利用可能性 (I A)	請求の範囲	1 - 3 4	有
	請求の範囲		無

2. 文献及び説明 (PCT規則 70.7)

文献1 : J P 0 8 - 2 5 0 3 6 6 A (株式会社東芝)
1 9 9 6 . 0 9 . 2 7 , 全文, 全図

文献2 : J P 2 0 0 3 - 2 1 8 4 2 8 A (アルプス電気株式会社)
2 0 0 3 . 0 7 . 3 1 , 段落【0 0 6 9】 - 【0 0 7 0】 , 図2
& U S 2 0 0 3 - 1 3 7 7 8 5 A

文献3 : J P 0 7 - 1 4 7 4 3 7 A (株式会社東芝)
1 9 9 5 . 0 6 . 0 6 , 全文

文献4 : W O 0 2 / 0 6 9 3 5 6 A (F E L S E R , C l a u d i a)
2 0 0 2 . 0 9 . 0 6 , 全文
& U S 2 0 0 4 - 1 1 4 2 8 3 A
& E P 1 3 8 2 0 4 6 A & C N 1 5 2 6 1 4 6 A
& D E 1 0 1 5 7 1 7 2 A & D E 1 0 1 0 8 7 6 0 A

請求の範囲1 - 3、5 - 1 0、1 2 - 1 7、1 9 - 2 4、2 6 - 3 1、3 3、3 4

文献1には、一般式X₂YZで表されるホイスラー合金において、X元素としてCu、Co等、Y元素としてMn、Fe等、Z元素としてAl、Ga等を用いる点、ホイスラー合金の下地にCr、Nb、Ta、Fe等を用いる点、基板温度を室温や150℃として成膜する点、従来はホイスラー合金組成で薄膜を形成し、250℃程度で加熱していた点、及び、MgO(100)基板を用いる点が記載されている。

国際予備審査報告にて新たに引用した文献4には、一般式X₂YZで表されるホイスラー合金として、Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}AlやCo₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Ga等を用いる点が記載されている。

補充欄

いずれかの欄の大きさが足りない場合

第 I.2 欄の続き

2. この報告は下記の出願書類を基礎とした。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に応答するために提出された差替え用紙は、この報告において「出願時」とし、この報告に添付していない。)

明細書

第9/1, 10, 10/1, 11, 11/1, 12, 12/1, 13, 13/1, 14, 14/1, 15,
15/1, 16, 17, 18, 21ページ、2005.09.13付けで国際予備審査機関が受理したもの

請求の範囲

第20, 23-25, 27, 30-32, 34項、出願時に提出されたもの
第21, 22, 26, 28, 29, 33項、2005.09.13付けで国際予備審査機関が受理したもの

補充欄

いずれかの欄の大きさが足りない場合

第 V.2 欄の続き

文献2には、 Co_2MnZ (ZはAl、Si、Ga、Ge、Snのうちから選択された1種または2種以上の元素)のホイスラー合金の結晶構造は、L2構造である点が記載されている。

そして、一般式 X_2YZ で表されるホイスラー合金において、文献1に記載されたホイスラー合金の具体的な組成比を、文献4に記載された組成比とし、また、文献2に記載されたホイスラー合金と同様に、結晶構造はL2構造であると認められることから、当該技術分野の専門家にとっては容易に想到し得たことである。

請求の範囲4、11、18、25、32

文献3には、一般式 X_2MnZ で表されるホイスラー合金層2を MgO (100)単結晶基板1上に成膜する点が記載されている。

そして、一般式 X_2YZ で表されるホイスラー合金において、文献1に記載された MgO (100)基板に代えて、文献2、4に記載された発明を適用すると共に、文献3に記載された発明の、 MgO (100)単結晶基板とすることは、当該技術分野の専門家にとっては容易に想到し得たことである。

するに至った。

上記目的を達成するため、本発明の磁性薄膜は、基板と基板上に形成される $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜とを備え、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜は $L2_1$ または $B2$ 単相構造を有し、薄膜の M は、 Mo 、 W 又は Cr であるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の 2 種以上からなり、 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ であることを特徴とする。

基板は、無加熱を含む 500°C 以下の温度で加熱されて前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜が成膜されているか、またはこの成膜した薄膜をさらに 500°C 以下の温度で熱処理されたものであってもよい。上記基板は、熱酸化 Si 、ガラス、 MgO 単結晶、 GaAs 単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであればよい。基板と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜との間にバッファ層が配設されていてもよい。このバッファ層としては、 Al 、 Cu 、 Cr 、 Fe 、 Nb 、 Ni 、 Ta 、 NiFe のうちの少なくとも一つを用いることができる。

この構成によれば、室温において、強磁性であり、スピン分極率の大きいハーフメタルである $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr であるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の 2 種以上からなり、 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）磁性薄膜（以下、適宜 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ $0 \leq x \leq 0.7$ ）磁性薄膜または単に $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜と呼ぶ）を得ることができる。

本発明のトンネル磁気抵抗効果素子は、基板上に複数の強磁性層を有するトンネル磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、 $L2_1$ または $B2$ 単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr であるか、または、 M は Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の 2 種以上からなり、 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）磁性薄膜であることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、強磁性層は、固定層とフリー層とで成り、フリー層は $L2_1$ または $B2$ 単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 磁性薄膜である。前記基板は、無加熱を含む 500°C 以下の温度で加熱されて Co_2MGa

「 x A 1 x 薄膜が成膜されるか、またはこの成膜した薄膜をさらに 5 0 0℃以下

の温度で熱処理すればよい。基板としては、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであればよい。基板と $Co_2Mg_{1-x}Al_x$ 薄膜との間にバッファ層が配設されていてもよい。このバッファ層は、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つで構成されることができる。

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でTMRの大きいトンネル磁気抵抗効果素子を得ることができる。

本発明の巨大磁気抵抗効果素子は、基板上に複数の強磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、L2₁またはB2单相構造を有する $Co_2Mg_{1-x}Al_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが5.5 ≤ Z ≤ 7.5であり、かつ、0 ≤ x ≤ 0.7）磁性薄膜で成り、膜面垂直方向に電流が流れる構造としたことを特徴とする。前記強磁性層は、固定層とフリー層とで成り、フリー層がL2₁またはB2单相構造を有する $Co_2Mg_{1-x}Al_x$ （0 ≤ x ≤ 0.7）磁性薄膜でなることが好ましい。上記基板は、無加熱を含む500℃以下の温度で加熱されることで $Co_2Mg_{1-x}Al_x$ 薄膜が成膜されるか、またはこの成膜した薄膜がさらに500℃以下の温度で熱処理されていてもよい。基板と $Co_2Mg_{1-x}Al_x$ 薄膜との間にバッファ層を配設するようにしてもよい。基板としては、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであればよい。バッファ層は、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つで構成することができる。

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でGMRの大きい巨大磁気抵抗効果素子を得ることができる。

本発明の磁気デバイスは、L2₁またはB2单相構造を有する $Co_2Mg_{1-x}Al_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが5.5 ≤ Z ≤ 7.5であり、かつ、0 ≤ x ≤ 0.7）磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする。この場合、フリー層が上記 $Co_2Mg_{1-x}Al_x$ （0 ≤ x

≦ 0. 7) 磁性薄膜が

ら成るトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いればよい。

好ましくは、トンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子は、その基板が無加熱を含む 500°C 以下の温度で加熱されて $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜が成膜されるか、またはこの成膜した薄膜がさらに 500°C 以下の温度で熱処理して作製されている。基板と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ ($0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜との間に、バッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いることができる。前記基板が、熱酸化 Si 、ガラス、 MgO 単結晶、 GaAs 単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いることができる。バッファ層として、 Al 、 Cu 、 Cr 、 Fe 、 Nb 、 Ni 、 Ta 、 NiFe のうちの少なくとも一つを用いたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いればよい。

上記構成によれば、室温において、低外部磁界で TMR や GMR の大きい磁気抵抗効果素子を用いた磁気デバイスを得ることができる。

また、本発明の磁気ヘッド及び磁気記録装置は、 L_2 、または B_2 単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr でなるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の 2 種以上からなり、 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、フリー層が前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜であるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いる。基板は、無加熱を含む 500°C 以下の温度で加熱されて $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜が成膜されるか、またはこの成膜した薄膜がさらに 500°C 以下の温度で熱処理して作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いてもよい。基板と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いてもよい。基板が、熱酸化 Si 、ガラス、 MgO 単結晶、 GaAs 単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いることもできる。バッファ層が、 Al 、 Cu 、 Cr 、 F

発明を実施するための最良の形態

本発明は、以下の詳細な発明及び本発明の幾つかの実施の形態を示す添付図面に基づいて、より良く理解されるものとなろう。なお、添付図面に示す種々の実施例は本発明を特定または限定することを意図するものではなく、単に本発明の説明及び理解を容易とするためだけのものである。

以下、図面に示した実施形態に基づいて本発明を詳細に説明する。各図において同一又は対応する部材には同一符号を用いる。

始めに本発明の磁性薄膜の第1の実施形態を示す。

図1は、本発明に係る第1の実施形態による磁性薄膜の断面図である。図1に示すように、本発明の磁性薄膜1は、基板2上に、室温において $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜3を配設している。 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜3において、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ である。ただし、上記Mの元素の価電子濃度Zは、上記元素のTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feのそれぞれにおいて、 $Z_{\text{Ti}} = 4$ 、 $Z_{\text{V}} = 5$ 、 $Z_{\text{Cr}} = Z_{\text{Mo}} = Z_{\text{W}} = 6$ 、 $Z_{\text{Mn}} = 7$ 、 $Z_{\text{Fe}} = 8$ と定義する。MがCr、Mo、Wの場合には、平均価電子濃度Zが6であり、上記の $5.5 \leq Z \leq 7.5$ を満足する。

Mが2種からなる場合の平均価電子濃度Zについて説明する。その組成が、 $\text{M} = \text{M}_1\text{aM}_2(1-\text{a})$ とする。 M_1 、 M_2 は、上記の金属Mから選ばれる金属であり、その組成としては、 M_1 がaであり、 M_2 が $1-\text{a}$ である。 M_1 、 M_2 の価電子濃度Zをそれぞれ、 Z_{M_1} 、 Z_{M_2} とする。この $\text{M}_1\text{aM}_2(1-\text{a})$ の平均価電子濃度Zは、 $Z = \text{a} \times Z_{\text{M}_1} + (1-\text{a}) \times Z_{\text{M}_2}$ で計算でき、このZを $5.5 \leq Z \leq 7.5$ となるように、Mの組成を決めればよい。

Mが2種以上からなる場合にも、その組成と価電子濃度Zから、同様にして平均価電子濃度Zを、 $5.5 \leq Z \leq 7.5$ を満足するようにMの選定をすればよい。 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜3は、室温で強磁性であり、電気抵抗率が $200 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 程度であり、かつ基板を加熱することなくL2、またはB2单相構造

を有している。基板 2 上の $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜 3 の膜厚は 1 nm 以上 1

μm 以下であればよい。

図2は本発明に係る第1の実施形態による磁性薄膜の変形例の断面図である。図2に示すように、本発明の磁性薄膜5は、図1の磁性薄膜1の構造において、さらに、基板2と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3との間にバッファ層4が挿入されている。バッファ層4を挿入することで、基板1上の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、 $0 \leq x \leq 1$ ）薄膜3の結晶性をさらによくすることができる。

上記磁性薄膜1、5に用いる基板2は、熱酸化Si、ガラスなどの多結晶、 MgO 、 Al_2O_3 、GaAsなどの単結晶を用いることができる。バッファ層4としては、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeなどを用いることができる。

上記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3の膜厚は、1nm以上で $1\mu\text{m}$ 以下であればよい。この膜厚が1nm未満では、実質的に後述するL2₁またはB2単相構造を得るのが困難になり、この膜厚が $1\mu\text{m}$ を超えるとスピンドバイスとしての応用が困難になり好ましくない。

次に、上記構成の第1の実施形態に用いる磁性薄膜の作用を説明する。

図3は、本発明の第1の実施形態の磁性薄膜に用いる $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）の構造を模式的に説明する図である。図に示す構造は、bcc（体心立方格子）の慣用的単位胞の8倍（格子定数で2倍）の構造を示している。

$\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ のL2₁構造においては、図3の1の位置にM（ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn

， F e の 2 種 以 上 か ら な る ） が が そ の 平 均 価 電 子 濃 度 Z を $5.5 \leq Z \leq 7.5$ と
す る 組 成 と な る よ う に 配

置され、IIの位置にGaとAlとが組成比として $Ga_{1-x}Al_x$ ($0 \leq x \leq 0.7$)となるように配置され、IIIとIVの位置にCoが配置される。

$Co_2MGa_{1-x}Al_x$ のB2単相構造においては、図3のIの位置及びIIの位置に、M(ここでは、Mo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなる)とGaとAlとが不規則に配列され、III及びIVの位置にCoが配置される。この際、MとFeとCrとの組成比は、 $M_1Ga_{1-x}Al_x$ (ここで、 $0 \leq x \leq 0.7$)となるように配置される。

次に、上記構成の第1の実施形態に用いる磁性薄膜1, 5の磁気的性質を説明する。上記構成の $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ (ここで、MはMo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$)薄膜3は、室温で強磁性であり、かつ、基板を加熱することなくL2, またはB2単相構造の $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ 薄膜が得られる。

さらに、上記構成の $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ (ここで、MはMo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$)薄膜3は、膜厚が数nm程度の非常に薄い膜においても、L2, またはB2単相構造が得られる。 $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ (ここで、MはMo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$)薄膜のB2構造は、L2構造と類似しているが、異なるのはL2構造では、上記MとGa(Al)原子が規則的に配置しているのに対し、B2構造は、不規則に配列していることである。これらの違いはX線回折や電子線回折で測定することができる。

上記 $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ 薄膜3において、Mの平均価電子濃度Zを、 $5.5 \leq M \leq 7.5$ とした理由について説明する。Zが5.5より小さいと、薄膜のキュリー温度が100℃を下回り、室温で大きなTMRが得られなくなる。一方、Zが7.5を越えると、薄膜のハーフメタル特性が消滅し、例えば、CPP構造の巨大磁気抵抗効果素子及びトンネル磁気抵抗効果素子において、大きなGM

RやTMRが得られないからである。

次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に係る第2の実施形態を示す。

図4は本発明に係る第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。図4はトンネル磁気抵抗効果素子の場合を示している。この図に示すように、トンネル磁気抵抗効果素子10は、例えば、基板2上に $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3が配設され、トンネル層となる絶縁層11、強磁性層12、反強磁性層13が順次積層された構造を有している。反強磁性層13は、強磁性層12のスピンを固着させる、所謂、スピンバブル型の構造のために用いている。この構造においては、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3をフリー層、強磁性層12をピン層と呼ぶ。また、強磁性層12は、単層構造と複数の層構造のいずれでもよい。絶縁層11には Al_2O_3 やAlの酸化物である AlO_x を、強磁性層12には CoFe 、 NiFe 、あるいは、 CoFe と NiFe との複合膜などを、反強磁性層13にはIrMnなどを用いることができる。

さらに、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子10の反強磁性層13の上には、さらに保護膜となる非磁性の電極層14を堆積させることが好ましい。

図5は、本発明に係る第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子15は、基板2上にバッファ層4と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3が配設され、トンネル層となる絶縁層11と、強磁性層12と、反強磁性層13と、保護膜となる非磁性の電極層14が順次積層された構造を有している。図5が図4の構造と異なる

のは、図 4 の構造に、

バッファ層 4 が配設された点である。他の構造は図 4 と同じである。

図 6 は、本発明に係る第 2 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子 20 は、基板 2 上にバッファ層 4 と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Mo, W 又は Cr でなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 3 が配設され、トンネル層となる絶縁層 11 と、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Mo, W 又は Cr でなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 16 と、反強磁性層 13 と、保護膜となる非磁性の電極層 14 が順次積層された構造を有している。図 6 が図 5 の構造と異なるのは、図 4 のピン層となる強磁性層 12 も、本発明の磁性薄膜である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Mo, W 又は Cr でなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）

薄膜 16 を用いた点である。他の構造は図 5 と同じである。

トンネル磁気抵抗効果素子 10, 15, 20 に電圧を加える場合は、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Mo, W 又は Cr でなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 3 またはバッファ層 4 と電極層 14 との間に印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層 4 から電極層 14 への電流の流し方は、膜面垂直方向に電流を流す CPP 構造とすることができる。

ここで、上記トンネル磁気抵抗効果素子 10, 15, 20 に用いる基板 2 は、熱酸化 Si、ガラスなどの多結晶、MgO、 Al_2O_3 、GaAs などの単結晶であってよい。バッファ層 4 として、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFe などを用いることができる。上記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （こ

で、MはMo，W又はCrでなるか、または、Ti，V，Mo，W，Cr，Mn，Feの2種以上からな

り、M中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3の膜厚は 1 nm 以上で $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であればよい。この膜厚が 1 nm 未満では実質的にL2、またはB2单相構造を得るのが困難になり、この膜厚が $1\text{ }\mu\text{ m}$ を超えるとトンネル磁気抵抗効果素子としての応用が困難になり好ましくない。上記構成の本発明のトンネル磁気抵抗効果素子10、15、20は、スパッタ法、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE法などの通常の薄膜成膜法と、所定の形状の電極などを形成するためのマスク工程などを用いて製造することができる。

つぎに、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子10及び15の動作について説明する。

本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子10、15は、二つの強磁性層3、12を用い、一方には反強磁性層13が近接し、近接した強磁性層12（ピン層）のスピンを固着させるスピバルブ型を用いているので、外部磁界が印加されたときには、他方のフリー層となる強磁性層 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3のスピンのみが反転される。したがって、スピバルブ効果により強磁性層12の磁化は、反強磁性層13との交換相互作用によってスピが1方向に固定されるので、フリー層である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3のスピンの平行、反平行が容易に得られる。この際、フリー層である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3の磁化が小さいため、反磁界が小さくそれだけ小さな磁界で磁化反転を起こすことができる。これにより、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子10、15は、MRAMなど低電力での磁化反転を必要とする磁気デバイスに好適である。

次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効

果素子の20の動作について説明する。

トンネル磁気抵抗効果素子20は、さらに、ピン層の強磁性層16もフリー層である強磁性の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3と同じ $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）を用いているので、上記(1)式の分母がより小さくなり、さらに、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子のTMRは大きくなる。これにより、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子20は、MRAMなど低電力での磁化反転を必要とする磁気デバイスに好適である。

次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に係る第3の実施形態を示す。

図7は、本発明に係る第3の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、巨大磁気抵抗効果素子の場合を示している。図に示すように、巨大磁気抵抗効果素子30は、基板2上に、バッファ層4と強磁性体となる本発明の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3が配設され、非磁性金属層21と強磁性層22と保護膜となる非磁性の電極層14とが順次積層された構造を有している。

ここで、巨大磁気抵抗効果素子のバッファ層4と電極層14との間に電圧が印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層4から電極層14への電流の流し方は、膜面内に電流を流すタイプであるCIP構造と、膜面垂直方向に電流を流すタイプであるCPP構造とすることができる。

図 8 は、本発明に係る第 3 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の巨人磁気抵抗効果素子 3 5 が、図 7

の巨大磁気抵抗効果素子 30 と異なるのは、強磁性層 22 と電極層 14 との間に反強磁性層 13 を設けスピバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子とした点である。他の構造は、図 7 と同じであるので説明は省略する。反強磁性層 13 は、近接したピン層となる強磁性層 22 のスピンを固着させる働きをする。巨大磁気抵抗効果素子 30, 35 のバッファ層 4 と電極層 14 との間に電圧が印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層 4 から電極層 14 への電流の流し方は、膜面内に電流を流すタイプである CIP 構造と、膜面垂直方向に電流を流すタイプである CPP 構造とすることができる。

上記巨大磁気抵抗効果素子 30, 35 の基板 2 は、熱酸化 Si、ガラスなどの多結晶、さらに、MgO, Al_2O_3 , GaAs などの単結晶を用いることができる。バッファ層 4 として、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFe などを用いることができる。非磁性金属層 21 としては、Cu, Al などを用いることができる。強磁性層 22 としては、CoFe, NiFe, Co_2M $Ga_{1-x}Al_x$ (ここで、M は Mo, W 又は Cr でなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜などの何れか一つか、またはこれらの材料からなる複合膜を用いることができる。反強磁性層 13 には IrMn などを用いることができる。

上記 Co_2M $Ga_{1-x}Al_x$ (ここで、M は Mo, W 又は Cr でなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜 3 の膜厚は、1 nm 以上で 1 μ m 以下であればよい。この膜厚が 1 nm 未満では実質的に L2₁ または B2 単相構造を得るのが困難になり、そして、この膜厚が 1 μ m を超えると巨大磁気抵抗効果素子としての応用が困難になり好ましくない。

上記構成の本発明の巨大磁気抵抗効果素子 30, 35 は、スパッタ法、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE 法などの通常の薄膜成膜法と、所定の形状の電極などを形成するためのマスク工程などを用いて製造することができる。

本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子である巨大磁気抵抗効果素子 30 の強磁性層である Co_2M $Ga_{1-x}Al_x$ (ここで、M は Mo, W 又は Cr でな

るか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜3は、ハーフメタルであることからスピン分極率が大きい。このため、外部磁界が印加されたときに伝導に寄与するのは、この薄膜3の一方のスピンのみである。したがって、巨大磁気抵抗効果素子30によれば、非常に大きな磁気抵抗、即ち、GMRが得られる。

次に、磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるスピンバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子35の場合には、ピン層である強磁性層22のスピンは反強磁性層13により固定されており、外部磁界を印加すること、フリー層である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜3のスピンが外部磁界により平行と反平行の状態になる。そして、伝導に寄与するのはハーフメタルである $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜3の一方のスピンだけであるので、非常に大きなGMRが得られる。

次に、本発明の磁性薄膜による磁気抵抗効果素子を用いた磁気装置に係る第4の実施形態を示す。

図1～図8に示すように、本発明の磁性薄膜を用いた各種の磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界でTMRまたはGMRが非常に大きくなる。

図9は、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子や巨大磁気抵抗効果素子に外部磁界を印加したときの抵抗を模式的に説明する図である。図の横軸は、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に印加される外部磁界で、縦軸が抵抗である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、巨大磁気抵抗効果やトンネル磁気抵抗効果を得るための必要な電圧が、十分に印加されている。

図示するように、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の抵抗は、外部

磁界により大きな変化を示す。外部磁界を領域（I）より印加し、外部磁界を減少させ、零として、さらに外部磁界を反転して増大させると、領域（II）から領域（III）において最小の抵抗から最大の抵抗に変化する。ここで、領域（II）の外部磁界を H_1 とする。

さらに、外部磁界を増加させると、領域（III）から領域（IV）を経て領域（V）までの抵抗変化が得られる。これにより、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、領域（I）と、領域（V）の外部磁界において、強磁性層22とフリー層である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3とのスピンの平行となり、最小の抵抗となる。そして、領域（III）では上記スピンの反平行の状態となり、最大の抵抗となる。 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜3は、例えば Co_2FeCrGa を用いることができる。

磁気抵抗変化率は、外部磁界を印加したとき、下記（2）式で表され、この値が大きいほど磁気抵抗変化率としては望ましい。

$$\text{磁気抵抗変化率} = (\text{最大の抵抗} - \text{最小の抵抗}) / \text{最小の抵抗} (\%) \quad (2)$$

これにより、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、図9に示すように、磁界が零から H_1 より極く僅かに大きい磁界、即ち低い磁界を加えることで、大きな磁気抵抗変化率が得られる。

図9で説明したように、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で大きなTMRまたはGMRを示すので、磁気抵抗センサとして用いれば、感度の高い磁気素子を得ることができる。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で大きなTMRまたはGMRを示すので、感度の高い読み出し用の磁気ヘッド及びこれらの磁気ヘッドを用いた各種の磁気記録装置を構成することができる。また、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子である、例えば、MTJ素子をマトリックス状に配置し、別に設けた配線に電流を流して外部磁界を印加する。このMTJ素子を構成するフリー層の強磁性体の磁化を、外部磁界により互いに平行と反平行に制御することにより、“1”、“0”を記録させる。さらに、読み出しはTMR効果を利用して行

抗は、外部磁界をスイープして、そのヒステリシス特性も測定している。これから、TMRは3.2%と求まった。

実施例2及び実施例3では、TMR曲線にプラトーが見られず、スピンの完全な反平行状態が実現していない。トンネル磁気抵抗効果素子15の作製条件を最適化することにより、TMRを飛躍的に大きくできることが期待される。

産業上の利用可能性

本発明によれば、 $L2_1$ または $B2$ 単相構造を有する $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ (ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr でなるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の2種以上からなり、 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜は、室温において、加熱せずに作製することができる。さらに、強磁性特性を示し、スピン分極率が大きい。

また、本発明の $L2_1$ または $B2$ 単相構造を有する $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ (ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr でなるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の2種以上からなり、 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜を用いた巨大磁気抵抗効果素子によれば、室温において、低外部磁界で非常に大きなGMRを得ることができる。また、トンネル磁気抵抗効果素子によっても、同様に、非常に大きなTMRを得ることができる。

さらに、本発明の $L2_1$ または $B2$ 単相構造を有する $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ (ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr でなるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の2種以上からなり、 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜を用いた各種の磁気抵抗効果素子を、超ギガビット大容量と高速の磁気ヘッドや不揮発性で高速動作するMRAMをはじめ種々の磁気装置へ応用することにより、新規な磁気装置が実現できる。この場合、飽和磁化が小さいためスピン注入による磁化反転磁場が小さくなり、低消費電力で磁化反転を実現できるほか、半導体への効率的なスピン注入が可能になり、スピンドロフトが開発される可能性があるなど、広くスピンエレクトロニクス分野を拓くキー材料として利用することができる。

請 求 の 範 囲

1. (補正後) 基板と該基板上に形成される $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜とを備え、

上記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜はL2₁またはB2単相構造を有し、

上記薄膜のMは、Mo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ であることを特徴とする、磁性薄膜。

2. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜が成膜されることを特徴とする、請求項1に記載の磁性薄膜。

3. 前記基板上に成膜した $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜が熱処理されることを特徴とする、請求項1に記載の磁性薄膜。

4. 前記基板が、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項1に記載の磁性薄膜。

5. 前記基板と前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜の間にバッファー層が配設されていることを特徴とする、請求項1に記載の磁性薄膜。

6. 前記バッファー層が、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項5に記載の磁性薄膜。

7. (補正後) 基板上に複数の強磁性層を有するトンネル磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、L2₁またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）磁性薄膜であることを特徴とする、トンネル磁気抵抗効果素子。

8. (補正後) 前記強磁性層が、固定層とフリー層とで成り、該フリー層がL2₁またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの

2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜であることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

9. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 磁性薄膜が成膜されることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

10. 前記基板上に成膜した $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 磁性薄膜が熱処理されることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

11. 前記基板が、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

12. (補正後) 前記基板と前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) との間にバッファ層が配設されていることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

13. 前記バッファ層が、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項12に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

14. (補正後) 基板上に複数の強磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、L2、またはB2单相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜で成り、膜面垂直方向に電流が流れる構造としたことを特徴とする、巨大磁気抵抗効果素子。

15. (補正後) 前記強磁性層が、固定層とフリー層とで成り、該フリー層がL2、B2、A2構造の何れか一つの構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはMo、W又はCrでなるか、または、Ti、V、Mo、W、

Cr, Mn, Feの2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜であることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

16. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 磁性薄膜が成膜されることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

17. 前記基板上に成膜した $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 磁性薄膜が熱処理されることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

18. 前記基板が、熱酸化Si, ガラス, MgO単結晶, GaAs単結晶, Al_2O_3 単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

19. (補正後) 前記基板と前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはMo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜との間にバッファ層が配設されていることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

20. 前記バッファ層が、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFeのうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項19に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

21. (補正後) L2, またはB2単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはMo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする、磁気デバイス。

22. (補正後) フリー層が前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはMo, W又はCrでなるか、または、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの2種以上からなり、該M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜で成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイス。

23. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で成膜された前記 $\text{Co}_{1-x}\text{MgAl}_x$ 磁性薄膜により作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項 21 に記載の磁気デバイ

ス。

24. 前記基板上に成膜した $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 磁性薄膜が熱処理されて作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイス。

25. 前記基板が、熱酸化 Si 、ガラス、 MgO 単結晶、 GaAs 単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイス。

26. (補正後) 前記基板と前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr でなるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の2種以上からなり、該 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイス。

27. 前記バッファ層が、 Al 、 Cu 、 Cr 、 Fe 、 Nb 、 Ni 、 Ta 、 NiFe の少なくとも一つから成るトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項26に記載の磁気デバイス。

28. (補正後) L_2 又は B_2 単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr でなるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の2種以上からなり、該 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜が基板上に形成されてなる磁気ヘッドを用いたことを特徴とする、磁気記録装置。

29. (補正後) フリー層が前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr でなるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の2種以上からなり、該 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 磁性薄膜で成るトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

30. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で成膜された前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 磁性薄膜により作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨

大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項2-8に記載の磁気記録装置。

3 1. 前記基板上に成膜した $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 磁性薄膜が熱処理されて作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

3 2. 前記基板が、熱酸化 Si 、ガラス、 MgO 単結晶、 GaAs 単結晶、 Al_2O_3 単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

3 3. (補正後) 前記基板と前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、 M は Mo 、 W 又は Cr でなるか、または、 Ti 、 V 、 Mo 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Fe の2種以上からなり、該 M 中の平均価電子濃度 Z が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$) 薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

3 4. 前記バッファ層が、 Al 、 Cu 、 Cr 、 Fe 、 Nb 、 Ni 、 Ta 、 NiFe のうちの少なくとも一つから成るトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項33に記載の磁気記録装置。